

## Нелинейная импедансная спектроскопия нематического жидкого кристалла E7

Гавриляк Максим Витальевич

Гавриляк Алина Маратовна, Боронин Виктор Александрович, Караави Ахмед

Южно-Уральский государственный университет

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

[gavrilyak.maksim@yandex.ru](mailto:gavrilyak.maksim@yandex.ru)

Жидкие кристаллы (ЖК) — это материалы, обладающие текучестью, оптической, электрической и магнитной анизотропией, а также возможностью изменения пространственной ориентации молекул под действием электрического поля. Сочетание этих свойств сделало возможным их использование в дисплеях [1], оптоволоконных устройствах [2], молекулярных мембран [3] и самоорганизованных жидкокристаллических ионно- селективных мембран [4].

Создание устройств на основе жидких кристаллов стало возможным благодаря детальному исследованию их свойств. Методами позволяющими исследовать свойства жидких кристаллов, являются импедансная и диэлектрическая спектроскопия [5,6]. При измерении импеданса на образец подаётся небольшое осциллирующее напряжение и измеряется отклик тока. Импеданс находится как комплексная функция:

$$Z^*(\omega) = Z'(\omega) - iZ''(\omega) = \frac{U^*(\omega)}{I^*(\omega)}, (1)$$

Основным недостатком метода классической импедансной спектроскопии является предположение, что ток от напряжения зависит линейно. При повышении осциллирующего напряжения начинают проявляться искажения по току которые не учитывает классическая импедансная спектроскопия.

Расширить потенциал данных методов возможно применив методы нелинейной импедансной и диэлектрической спектроскопии высших гармоник. Данный метод основан на том, что к исследуемому образцу прикладывается большее по амплитуде осциллирующее напряжение, при этом ток от напряжения зависит нелинейно и отклик регистрируется на высших гармониках (рис.1).

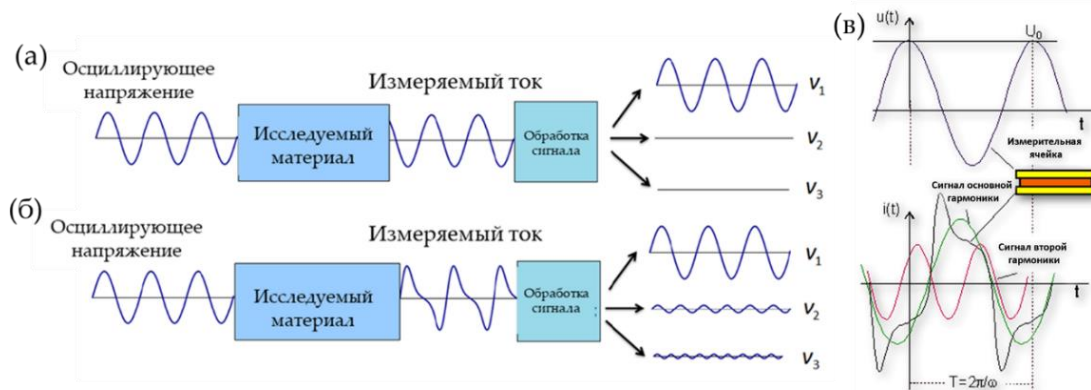


рис.1 Схема, показывающая отклик напряжения нелинейной системы на небольшое (а) и умеренное (б) возмущение напряжение. Преобразование Фурье измеряемого сигнала (в)

Отклик тока высших гармоник получен с помощью интегрального преобразования Фурье:

$$I_n(\omega) = \frac{2}{nT} \int_0^{nT} i(t) \exp(jn\omega t) dt, (2)$$

где  $n$  — обозначает  $n$ -1 гармонику.

В данной работе исследовалась жидкокристаллическая смесь E7, представляющая собой сочетание 4-х компонентов производных цианобифенила. При комнатной температуре данная смесь находится в нематической жидкокристаллической фазе. Для измерения в изотропной фазе, фазовый переход нематик-изотропная жидкость был измерен с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Фазовый переход в изотропное состояние ЖК смеси E7 произошел при температуре:  $T_{N-I} = 63,8^\circ\text{C}$ .

Измерения нелинейной импедансной спектроскопии проводились с помощью жидкокристаллической ячейки, которая представляет собой плоский конденсатор. ЖК ячейка состоит двух стеклянных пластин с нанесенными на них электродами из оксида индия-олова, поверх которых нанесены полимерные слои для планарного ориентирования молекул жидкого кристалла. Толщина зазора ЖК ячейки составляла  $d = 5,6$  мкм, площадь перекрытия контактов  $S = 17,4$  мм<sup>2</sup>.

Измерения нелинейных спектров импеданса ЖК смеси E7 были проведены на импедансном спектрометре novocontrol beta system. Частотный диапазон измерения составил от 0,5 мГц до 600 Гц. Провести

измерения в области высоких частот невозможно ввиду ограничения возможности прибора. Осциллирующее напряжение выбиралось исходя из того, что нелинейность в высших гармониках начинает проявляться при напряжениях от 1 В и в данной работе составляло  $U = 3$  В. Измерения проводились в нематической и изотропной фазах ЖК, при температурах 25 °С и 80 °С (рис.2).

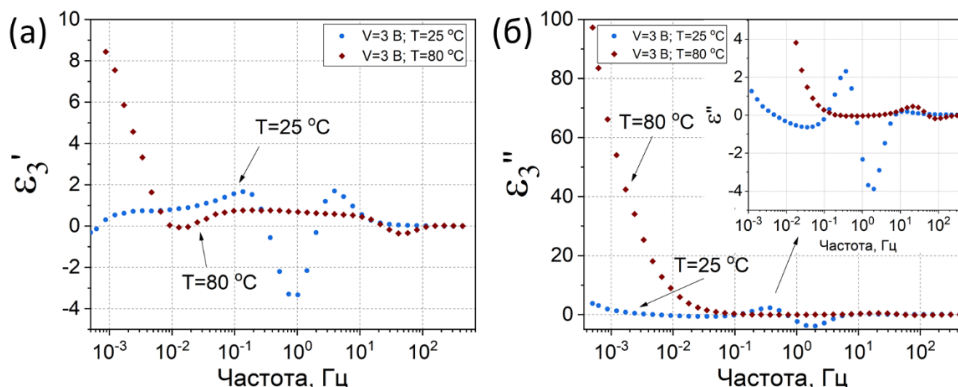


рис.2. Спектры действительной (а) и мнимой (б) части диэлектрической проницаемости 3-ей гармоники нематической фазы и изотропной фазы жидкого кристалла в планарной ячейке.

Из графиков видно, что в области низких частот, около 1 мГц, спектры комплексной диэлектрической проницаемости в изотропной фазе ЖК выше, чем в нематической фазе, что связано с повышением подвижности примесных ионов в жидком кристалле с повышением температуры.

Таким образом, нелинейные спектры комплексной диэлектрической проницаемости нематической фазы жидкого кристалла в низкочастотной области содержат только нечетные гармоники. Присутствие нечетных гармоник свидетельствует о зависимости ионных процессов от полярности приложенного электрического поля. Основным отличием спектров комплексной диэлектрической проницаемости высших гармоник изотропной фазы от нематической фазы, является присутствие в изотропной фазе четных гармоник.

Список публикаций:

- [1] Guo Q. et al. *Ferroelectric Liquid Crystals: Physics and Applications* //Crystals. – 2019. – Т. 9. – №. 9. – С. 470.
- [2] Larsen T. T. et al. *Optical devices based on liquid crystal photonic bandgap fibres* //Optics Express. – 2003. – Т. 11. – №. 20. – С. 2589-2596.
- [3] Gin D.L., Noble R. D. *Designing the next generation of chemical separation membranes* //Science. – 2011. – Т. 332. – №. 6030. – С. 674-676.
- [4] Henmi M. et al. *Self-organized liquid-crystalline nanostructured membranes for water treatment: selective permeation of ions* //Advanced Materials. – 2012. – Т. 24. – №. 17. – С. 2238-2241.
- [5] Podgornov F. V. et al. *Mechanism of electrooptic switching time enhancement in ferroelectric liquid crystal/gold nanoparticles dispersion* //Liquid Crystals. – 2018. – Т. 45. – №. 11. – С. 1594-1602.
- [6] Perkowski P. *Dielectric spectroscopy of liquid crystals. Theoretical model of ITO electrodes influence on dielectric measurements* //Opto-Electronics Review. – 2009. – Т. 17. – №. 2. – С. 180-186.

## Влияние модифицирования $\text{CdNb}_2\text{O}_6$ на фазообразование твердых растворов $\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$

**Глазунова Екатерина Викторовна**  
Южный федеральный университет  
Вербенко Илья Александрович, д.ф.-м.н.  
[kate93g@mail.ru](mailto:kate93g@mail.ru)

Стремление к универсальности функциональных материалов приводит к необходимости совмещения в одной химической композиции нескольких материалов, имеющих различную, структуру и свойства.

В данной работе нами изучены процессы фазообразования в квазибинарной системе твердых растворов (ТР), в которую входят  $\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ , обладающий высокими значениями диэлектрических  $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0 = (2000-2300)$  и электромеханических  $K_p = (0.550-0.569)$  характеристик, имеющий структуру типа перовскита[1], а также  $\text{CdNb}_2\text{O}_6$ , обладающий очень высокими значениями диэлектрической проницаемости и кристаллизующийся в структуре пироклора [2].

Как известно, для образования ТР элементы, входящие в их состав должны удовлетворять условиям изоморфизма: разность ионных радиусов ( $\Delta R$ ) не должна превышать 15 % и разность электроотрицательностей